

Phân tích kết cấu tường kép nhà nhiều tầng có thiết bị tiêu tán năng lượng chịu động đất

Analysis of coupled shear wall in high-rise building with energy dissipation device

> TS PHẠM THU HIỂN¹, TS NGUYỄN HẢI QUANG², GS.TS NGUYỄN TIẾN CHƯƠNG³

¹Trường Đại học Thủy lợi; E-mail: hienpt@tlu.edu.vn

²Trường Đại học Điện lực; E-mail: quangnh@epu.edu.vn

³Trường Đại học Xây dựng Miền Tây; E-mail: chuongnguyentien@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo phân tích kết cấu tường kép có gắn thiết bị tiêu tán năng lượng chịu tác động của các trận động đất khác nhau nhằm làm rõ tính hiệu quả giảm chấn của giải pháp sử dụng thiết bị tiêu tán năng lượng. Để mô hình tính toán tường kép có thiết bị tiêu tán năng lượng, nghiên cứu sử dụng mô hình khung theo phương pháp phân tử hữu hạn. Các thiết bị tiêu tán năng lượng được gắn vào đoạn giữa của dầm nối, làm việc theo quy luật ứng xử trễ phi tuyến giữa lực tác dụng và biến dạng trượt. Phân tích kết cấu tường kép có gắn thiết bị như trên trong dầm, bài báo sử dụng chương trình Tính toán khung gắn thiết bị giảm chấn được xây dựng dựa trên nền tảng ngôn ngữ lập trình Matlab phiên bản R2017b. Kết quả phân tích kết cấu tường kép 30 tầng, gắn thiết bị tiêu tán năng lượng tại tất cả các tầng, với 4 trận động đất có đặc tính khác nhau cho thấy giải pháp sử dụng thiết bị tiêu tán năng lượng đạt hiệu quả giảm chấn cao khi công trình chịu tác động của động đất. Thông qua các thông số khảo sát: chuyển vị ngang tại đỉnh, gia tốc tại đỉnh và chuyển vị ngang tương đối theo tầng, kết quả khảo sát cho thấy mức độ giảm của các giá trị khảo sát so sánh giữa trường hợp không đặt thiết bị tiêu tán năng lượng và đặt 30 thiết bị đạt từ 26 % đến 46 %.

Từ khóa: Tường kép; dầm nối; thiết bị tiêu tán năng lượng; thiết kế kháng chấn.

ABSTRACT

This paper analyzes coupled shear wall structure with energy dissipation devices that are affected by different earthquakes to clarify the damping effectiveness of the solution using energy dissipation devices. To model the coupled shear wall with energy dissipation devices, the study uses the equivalent frame model according to the finite element method. Energy dissipation devices are attached to the middle section of the coupling beam, working according to the law of nonlinear hysteresis between the shear force and the relative displacement. To analyze the coupled shear wall structure with the above device assigned in the beam, the coupled shear wall calculation algorithm and the Analysis of the Frame with Damper (TTKGC) program are built based on the Matlab version of the programming language platform R2017b. Results of analysis of a 30-story coupled shear wall structure, with energy dissipation devices installed on all floors, with 4 earthquakes with different characteristics, show that the solution of using energy dissipation devices is effective in reducing high vibration when the structure is affected by an earthquake. Through the survey parameters: peak lateral displacement, peak floor acceleration, inter-story drift ratio, the analysis results show the decrease in survey values compared to the case where no energy dissipation devices and placing 30 devices reached from 26 % to 46 %.

Keywords: Coupled shear wall; coupling beam; energy dissipation device; seismic design.

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, kết cấu nhà nhiều tầng được sử dụng rộng rãi trong các công trình dân dụng nhờ sự phát triển nhanh chóng của cả công nghệ xây dựng và kỹ thuật tính toán. Công trình càng cao thì càng chịu tác động lớn hơn với các mối nguy hiểm tự nhiên như động đất. Một số thảm họa động đất lớn trên thế giới đã xảy ra gần đây có thể kể đến như trận động đất mạnh 7,8 độ richter tại Thổ Nhĩ Kỳ và Syria ngày 6/2/2023; hay trận động đất xảy ra ở bán đảo Noto của tỉnh Ishikawa, Nhật Bản mạnh 7,6 độ richter ngày

1/1/2024 ... Tại Việt Nam trong quý I/2024, Trung tâm Báo tin động đất và Cảnh báo sóng thần đã ghi nhận được 71 trận động đất có độ lớn dưới 5 độ richter trên lãnh thổ và vùng biển Việt Nam. Vì vậy, việc thiết kế và xây dựng các công trình nhà nhiều tầng cần đảm bảo yêu cầu về độ cứng, độ bền và độ dẻo thích hợp dưới tác động của động đất.

Để hạn chế sự phá hoại của các công trình khi xảy ra động đất, vấn đề chịu tải trọng ngang có một ý nghĩa hết sức đặc biệt và đóng vai trò quan trọng trong hệ kết cấu chịu lực, một số hệ kết

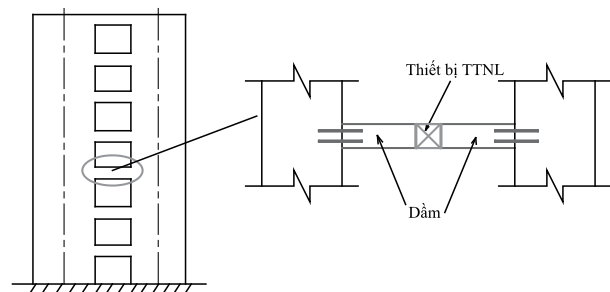
cấu được thiết kế để chịu tải trọng ngang như kết cấu tường chịu lực, hệ kết cấu khung - vách, hay sử dụng thiết bị giảm chấn [1]. Trong các tiêu chuẩn kháng chấn, tường chịu lực còn được hiểu theo nghĩa vách cứng hoặc tường chịu cắt. Khi tường có kích thước lớn hơn quy định, có thể chia tường thành các tường nhỏ hơn, tạo ra tường kép [2]. Trong thực tế, kết cấu tường kép thường được thiết kế theo yêu cầu cho các cửa sổ trên các bức tường đầu hồi bên ngoài, hoặc cho các cửa ra vào hoặc hành lang trong các bức tường bên trong. Kết cấu tường kép bao gồm hai hay nhiều tường đơn được kết nối bằng dầm hoặc các bản sàn theo chiều cao tầng. Các dầm được sử dụng để nối giữa hai tường đơn với nhau gọi là dầm nối. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng dầm nối là bộ phận bị phá hoại đầu tiên trong tường kép khi động đất xảy ra và gặp nhiều khó khăn khi sửa chữa, thay thế sau đó.

Paulay (1969) đã xác định được hai kiểu phá hoại do cắt chủ yếu xảy ra trong dầm nối được cấu tạo bê tông cốt thép thông thường: phá hoại do kéo theo đường chéo và phá hoại trượt do cắt [3]. Để cải thiện độ dẻo của dầm nối, việc sử dụng cốt thép chéo trong dầm đã được đề xuất bởi Paulay và Binney (1974). Hạn chế chính của việc cấu tạo cốt thép theo đường chéo trong dầm nối là khó khăn trong việc đặt và chi tiết các thanh thép. Để tháo gỡ khó khăn trong việc thi công dầm nối bê tông cốt thép chéo, Harries và cộng sự đã tiến hành nghiên cứu sử dụng dầm nối thép liên kết vào tường bê tông cốt thép, gọi là tường kép liên hợp tường bê tông cốt thép và dầm nối thép. Ngoài ra, một số thiết bị tiêu tán năng lượng (TTNL) đặt tại dầm nối đã được sử dụng giúp giảm tác động của động đất lên kết cấu tường kép, như thiết bị cản kim loại, thiết bị cản ma sát, thiết bị cản nhớt [4], ... Các kết quả nghiên cứu đều chỉ ra rằng việc sử dụng thiết bị TTNL tại dầm nối giúp tường kép cải thiện về độ cứng và tăng khả năng tiêu tán năng lượng, đồng thời dễ dàng thay thế bộ phận tiêu tán năng lượng sau mỗi trận động đất. Tuy nhiên, các nghiên cứu đều đang dừng lại ở việc thí nghiệm riêng dầm nối hoặc phân tích kết cấu tường kép với từng trận động đất. Trong bài báo này sẽ thực hiện phân tích kết cấu tường kép theo mô hình khung, dưới tác động của các trận động đất khác nhau, nhằm làm rõ tính hiệu quả giảm chấn của giải pháp sử dụng thiết bị tiêu tán năng lượng.

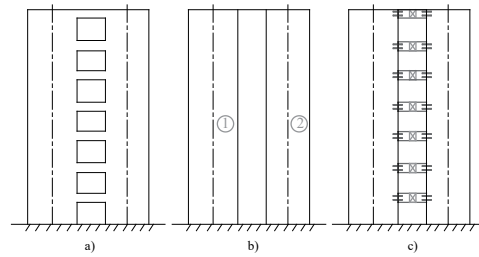
2. MÔ HÌNH VÀ CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN TƯỜNG KÉP CÓ THIẾT BỊ TIÊU TÁN NĂNG LƯỢNG

2.1 Mô hình tính toán tường kép có thiết bị tiêu tán năng lượng

Khác với việc sử dụng thiết bị giảm chấn là gối cách chấn đáy trong nhà nhiều tầng, có nhiều khó khăn trong thi công và sửa chữa khi cần thiết. Thiết bị TTNL được gắn trong dầm nối như mô tả ở Hình 1 có thể đơn giản hơn trong việc kiểm tra khả năng làm việc của thiết bị sau mỗi trận động đất và thay thế nếu cần thiết. Việc thi công kết cấu có thể sử dụng phương án thi công tường hai bên trước (Hình 2), sau đó đặt thép chờ (hoặc các cách liên kết khác như bulông, bản mã) và thi công dầm nối tại các cao trình thiết kế sau.

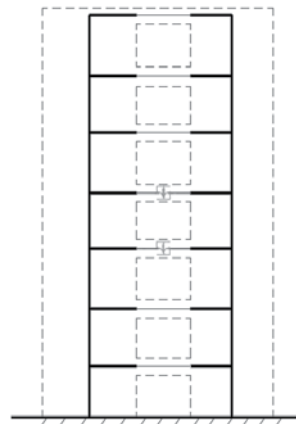


Hình 1. Mô hình cấu tạo dầm nối có gắn thiết bị tiêu tán năng lượng



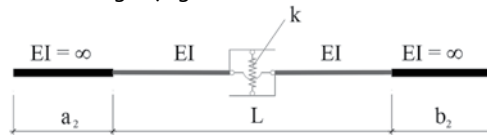
Hình 2. Thi công tường kép gắn thiết bị tiêu tán năng lượng

Để phân tích sự làm việc của tường kép có gắn thiết bị TTNL trong dầm nối, cần mô hình hóa toàn bộ kết cấu tường kép cũng như từng cấu kiện. Nghiên cứu này lựa chọn mô hình khung theo phương pháp phân tử hữu hạn để mô hình tính toán tường kép có thiết bị TTNL (Hình 3). Các phần tử điển hình của khung tương đương bao gồm: phần tử cột (tường), phần tử dầm không có thiết bị TTNL và phần tử dầm có thiết bị TTNL.



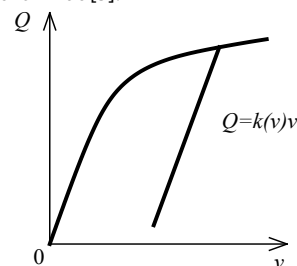
Hình 3. Mô hình tính toán tường kép có thiết bị TTNL

Phần tử dầm nối có thiết bị TTNL là một loại siêu phần tử gồm các bộ phận (Hình 4): hai phần cứng ở hai đầu dầm, thiết bị tiêu tán năng lượng ở giữa và các đoạn dầm nối các phần cứng với thiết bị tiêu tán năng lượng.



Hình 4. Cấu tạo của phần tử dầm nối có thiết bị TTNL

Thiết bị TTNL được mô hình hóa bằng một liên kết dọc trục không biến dạng có độ dài bằng không và một liên kết trượt. Độ cứng của liên kết trượt ký hiệu là k (Hình 4). Quan hệ giữa lực cắt Q và chuyển vị tương đối tại hai mép của thiết bị (hai đầu mút của các đoạn dầm) có dạng $Q=k(v)v$ (Hình 5). Ma trận độ cứng của phần tử dầm có thiết bị TTNL theo phương án đặt thiết bị đề xuất được xây dựng dựa trên nguyên lý của cơ học phi tuyến, áp dụng định lý Engesser thứ nhất [5].



Hình 5. Dạng quan hệ lực cắt, chuyển vị của thiết bị

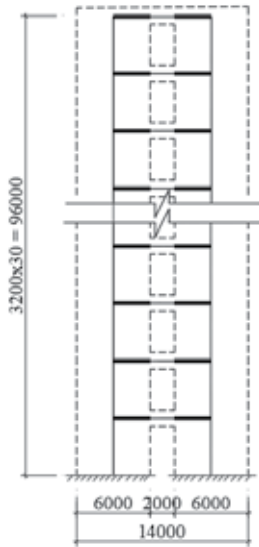
2.2 Thuật toán và chương trình tính toán tường kép có thiết bị tiêu tán năng lượng

Phương trình gia lượng chuyển động của kết cấu theo phương pháp phần tử hữu hạn như sau:

$$[M]\{\Delta\ddot{u}\} + [C]\{\Delta\dot{u}\} + [K]\{\Delta u\} = \{\Delta P\} \quad (1)$$

Để giải hệ phương trình chuyển động (1), nghiên cứu sử dụng phương pháp Newmark (phương pháp gia tốc trung bình không đổi) phân tích theo hướng tuyến tính từng đoạn, với bước thời gian Δt rất nhỏ. Do các phần mềm tính toán kết cấu phổ biến hiện nay như SAP2000, ANSYS, ABAQUS ... không có sẵn trong thư viện phần tử thanh có đặc trưng như trên, vì vậy chương trình tính toán mới để khảo sát sự làm việc của tường có gắn thiết bị TTNL khi chịu tác động động đất đã được thiết lập. Thuật toán tính toán tường kép và chương trình Tính toán khung gắn thiết bị giảm chấn (TTKGC) được xây dựng dựa trên nền tảng ngôn ngữ lập trình Matlab phiên bản R2017b, sử dụng ma trận độ cứng của phần tử thanh gắn thiết bị TTNL đã đề xuất [5].

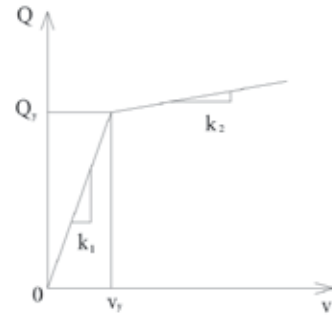
3. KHẢO SÁT TÍNH HIỆU QUẢ CỦA GIẢI PHÁP GIẢM CHẤN BẰNG THIẾT BỊ TIÊU TÁN NĂNG LƯỢNG



Hình 6. Kết cấu tường kép 30 tầng

Nhằm đánh giá tính hiệu quả của giải pháp sử dụng thiết bị TTNL để giảm tác động của động đất lên kết cấu tường kép, kết cấu được chọn để phân tích là tường kép 30 tầng có gắn thiết bị TTNL trên mỗi tầng (Hình 6). Tường kép có chiều cao mỗi tầng 3,2 (m), chiều dài tường 14,0 (m). Tường có hai chân, mỗi chân dài 6,0 (m), dầm nối dài 2,0 (m). Chiều dày tường thay đổi theo chiều cao: 0,70 (m) tại tầng 1 và tầng 2; 0,60 (m) từ tầng 3 đến tầng 8; 0,50 (m) trong các tầng từ 9 đến 12; 0,40 (m) tại các tầng 13 đến tầng 16 và 0,30 (m) với các tầng còn lại. Bê tông cấp độ bền B50 có mô đun đàn hồi $E_b = 38000 (MPa)$. Dầm nối (bao gồm cả các tầng có thiết bị TTNL và không có thiết bị) là dầm thép hộp, chiều rộng 0,250 (m), chiều cao 0,700 (m), chiều dày 0,010 (m).

Các trận động đất được lựa chọn để phân tích bao gồm: động đất Northridge (gia tốc nền CAST360_DBE), động đất Kobe (gia tốc nền KOBE), động đất Chi-Chi (gia tốc nền TCU078) và động đất Landers (gia tốc nền IND). Thông tin của các trận động đất được thể hiện tại Bảng 1. Thiết bị TTNL đặc trưng bởi các thông số Q_y - lực cắt tại điểm chảy dẻo; hai độ cứng k_1, k_2 , cụ thể: $Q_y = 420 (kN)$, $k_1 = 5600 (kN / cm)$, $k_2 = 56 (kN / cm)$ (Hình 7).

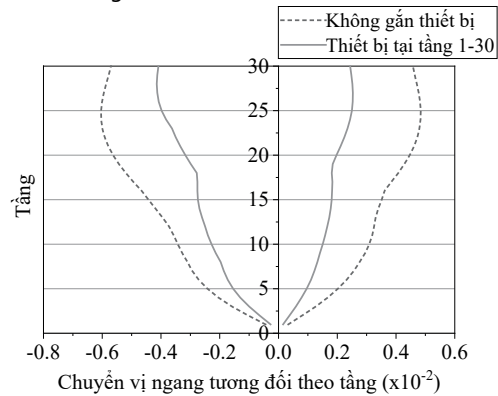


Hình 7. Mô hình quan hệ lực cắt và chuyển vị của thiết bị

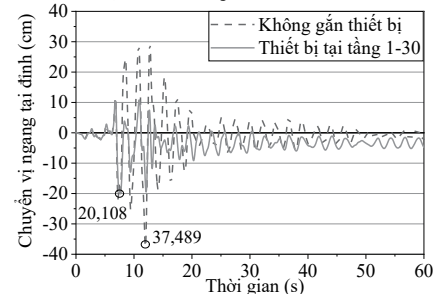
Bảng 1: Thông tin các gia tốc nền khảo sát

Trận động đất	Gia tốc nền	PGA (g)	M _w	Khoảng cách (km)	Địa điểm	Năm
Northridge	CAST360_DBE	0,40	6,7	21	Mỹ	1994
Kobe	KOBE	0,33	6,9	17,6	Nhật Bản	1995
Chi-Chi	TCU078	0,40	7,0	6,5	Đài Loan	1999
Landers	IND	0,11	7,3	56	Mỹ	1992

Để xem xét tính hiệu quả của giải pháp giảm chấn bằng thiết bị TTNL, bài báo thực hiện phân tích qua ba thông số: chuyển vị ngang tương đối theo tầng, chuyển vị ngang tại đỉnh và gia tốc tại đỉnh - đây là các thông số quan trọng khi đánh giá công trình chịu tải trọng ngang. Xét trường hợp các thiết bị được gắn vào dầm nối trên mỗi tầng (30 tầng) của kết cấu tường kép. Kết quả phân tích tường kép dưới tác động của gia tốc nền CAST360_DBE thể hiện trên Hình 8 - Hình 9. So sánh kết quả tính toán giữa trường hợp có thiết bị TTNL với trường hợp không có thiết bị, cho thấy giá trị của chuyển vị ngang tương đối theo tầng được giảm xuống 31,457 % (từ $0,604.10^{-2}$ xuống $0,414.10^{-2}$) (Hình 8).



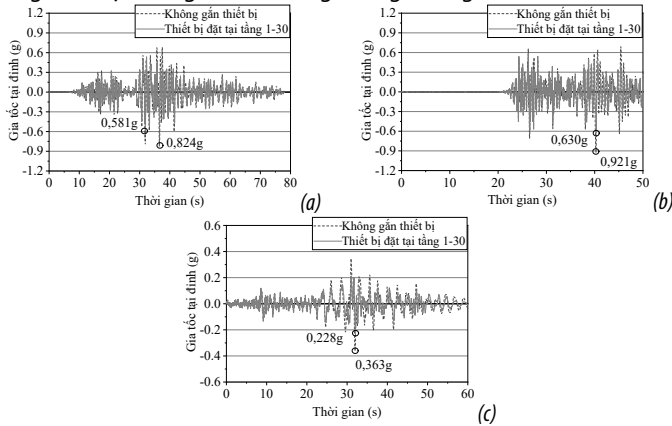
Hình 8. So sánh chuyển vị ngang tương đối theo tầng của tường kép khi không gắn thiết bị TTNL và thiết bị TTNL đặt trên mỗi tầng



Hình 9. So sánh chuyển vị ngang tại đỉnh tường kép khi không gắn thiết bị TTNL và đặt thiết bị tại tầng 1-30

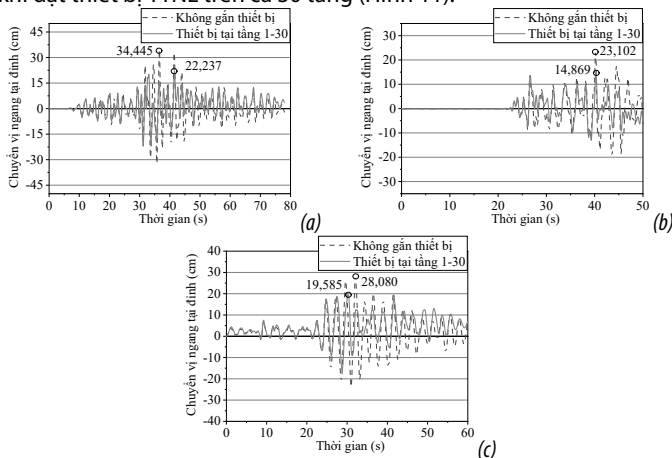
Hình 9 thể hiện biểu đồ chuyển vị ngang tại đỉnh của tường kép khi không gắn thiết bị TTNL và gắn thiết bị TTNL trên mỗi tầng. Giá trị lớn nhất của chuyển vị ngang tại đỉnh tường kép khi có thiết bị

bị TTNL giảm 46,363 % so với khi không có thiết bị (từ 37,489 cm xuống 20,108 cm). Bên cạnh kết quả phân tích theo động đất Northridge, thực hiện phân tích kết cấu tường kép đặt thiết bị TTNL trên mỗi tầng dưới tác động của các trận động đất khác: động đất Kobe, động đất Chi-Chi và động đất Landers. Hình 10 thể hiện biểu đồ so sánh giá trị gia tốc tại đỉnh của tường kép dưới tác động của 3 trận động đất Kobe, Chi-Chi và Landers trong trường hợp không có thiết bị TTNL và thiết bị được gắn trên mỗi tầng. Với cả 3 gia tốc nền trên giá trị gia tốc tại đỉnh đều giảm đáng kể khi gắn thiết bị TTNL trên toàn bộ công trình, trong đó giảm nhiều nhất là dưới tác động của trận động đất Landers, khi đó gia tốc tại đỉnh giảm từ 0,363g xuống 0,228g.

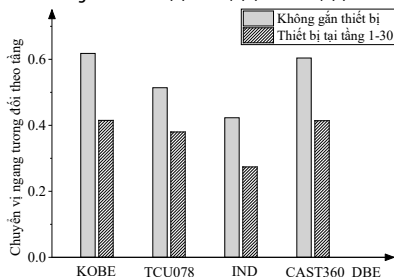


Hình 10. So sánh gia tốc tại đỉnh tường kép khi không có thiết bị TTNL và thiết bị tại tầng 1-30 với các gia tốc nền: (a) KOBE; (b) TCU078; (c) IND

Dưới tác động của trận động đất Chi-Chi, chuyển vị ngang tại đỉnh tường kép giảm lớn nhất, từ 23,102 (cm) xuống 14,869 (cm) khi đặt thiết bị TTNL trên cả 30 tầng (Hình 11).



Hình 11. So sánh chuyển vị ngang tại đỉnh tường kép khi không có thiết bị TTNL và thiết bị tại tầng 1-30 với các gia tốc nền: (a) KOBE; (b) TCU078; (c) IND



Hình 12. So sánh chuyển vị ngang tương đối theo tầng của tường kép khi không gắn thiết bị TTNL và thiết bị tại tầng 1-30 với các gia tốc nền khác nhau

Hình 12 thể hiện chuyển vị ngang tương đối theo tầng của tường kép dưới tác động của 4 trận động đất so sánh giữa trường hợp không gắn thiết bị TTNL và thiết bị đặt từ tầng 1 đến tầng 30. Với 4 gia tốc nền khảo sát, chuyển vị ngang tương đối theo tầng đều giảm rõ rệt, trong đó với gia tốc nền IND, chuyển vị ngang tương đối theo tầng giảm lớn nhất (35,225 %) từ $0,423.10^2$ xuống $0,274.10^2$.

Bảng 2: Mức độ giảm của các giá trị: chuyển vị ngang tại đỉnh, gia tốc tại đỉnh, chuyển vị ngang tương đối theo tầng so sánh giữa trường hợp không đặt thiết bị TTNL và đặt 30 thiết bị với các gia tốc nền khác nhau

Giảm độ gia tốc nền	Giảm chuyển vị ngang tại đỉnh (%)	Giảm gia tốc tại đỉnh (%)	Giảm chuyển vị ngang tương đối theo tầng (%)
CAST360_DBE	46,363	31,419	31,457
KOBE	35,442	29,490	32,848
TCU078	35,638	31,596	26,070
IND	30,253	37,190	35,225

Bảng 2 thể hiện mức độ giảm các giá trị chuyển vị ngang tại đỉnh, gia tốc tại đỉnh và chuyển vị ngang tương đối theo tầng của tường kép khi gắn thiết bị TTNL trên mỗi tầng, so sánh với khi không có thiết bị. Dưới tác động của trận động đất Northridge, giá trị chuyển vị ngang tại đỉnh giảm lớn nhất trong các trường hợp khảo sát (46,363 %), ngoài ra giá trị gia tốc tại đỉnh và chuyển vị ngang tương đối theo tầng giảm lần lượt là 31,419 % và 31,457 %. Với trận động đất Kobe, mức độ giảm chuyển vị ngang tại đỉnh, gia tốc tại đỉnh và chuyển vị ngang tương đối theo tầng lần lượt là 35,442 %, 29,490 % và 32,848 %.

Khảo sát kết cấu tường kép đặt thiết bị TTNL trên mỗi tầng chịu tác động của trận động đất Chi-Chi nhận thấy giá trị chuyển vị ngang tại đỉnh và gia tốc tại đỉnh giảm lần lượt là 35,638 % và 31,596 % so với khi không đặt thiết bị, trong đó chuyển vị ngang tương đối theo tầng giảm 26,070 %.

Khi đặt thiết bị TTNL, giá trị chuyển vị ngang tại đỉnh, gia tốc tại đỉnh và chuyển vị ngang tương đối theo tầng của tường kép đều giảm lớn hơn 30 % dưới tác động của trận động đất Landers, lần lượt là 30,253 %, 37,190 % và 35,225 %.

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở mô hình để xuất, thuật toán và chương trình tính toán kết cấu tường kép có các thiết bị TTNL chịu động đất đã xây dựng, bài báo tiến hành phân tích kết cấu tường kép 30 tầng có gắn thiết bị TTNL tại các dầm nối. Kết quả phân tích cho thấy:

Giải pháp giảm chấn bằng thiết bị TTNL đối với kết cấu tường kép đạt hiệu quả giảm chấn cao thông qua các thông số khảo sát. Với 4 trận động đất có đặc tính khác nhau về độ lớn, khoảng cách, đỉnh gia tốc cho thấy giải pháp sử dụng thiết bị TTNL đạt hiệu quả giảm chấn rõ rệt khi công trình chịu tác động của động đất: giảm chuyển vị ngang tại đỉnh: 30,253 % - 46,363 %; giảm gia tốc tại đỉnh: 29,490 % - 37,190 %; giảm chuyển vị ngang tương đối theo tầng: 26,070 % - 35,225 %.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] P. Park and T. Paulay, *Reinforced Concrete Structures*. Wiley-Interscience, 1974.
- [2] Nguyễn Tiến Chương, *Phân tích kết cấu nhà nhiều tầng*. Nhà xuất bản xây dựng, 2015.
- [3] T. Paulay, *The Coupling of Shear Walls*. New Zealand: University of Canterbury, 1969.
- [4] T.-S. Ahn, Y.-J. Kim, and S.-D. Kim, "Large-Scale Testing of Coupled Shear Wall Structures with Damping Devices," *Advances in Structural Engineering*, vol. 16, no. 11, pp. 1943–1955, Nov. 2013, doi: 10.1260/1369-4332.16.11.1943.
- [5] Phạm Thu Hiền, Nguyễn Hải Quang, and Nguyễn Tiến Chương, "Tính toán kết cấu tường kép có gắn thiết bị giảm chấn trong dầm nối," *Tạp chí Xây dựng*, pp. 113–119, Dec. 2022.